

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Juli 2005 (28.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/069041 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **G02B 1/00**

GMBH [DE/DE]; Am Friedensplatz 3, 68165 Mannheim (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/002482

(72) Erfinder; und

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. November 2004 (10.11.2004)

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **RYGIEL, Reiner**
[DE/DE]; Ziegeleistrasse 123, 67122 Altrip (DE).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(74) Anwalt: **ULLRICH & NAUMANN**; Luisenstrasse 14,
69115 Heidelberg (DE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

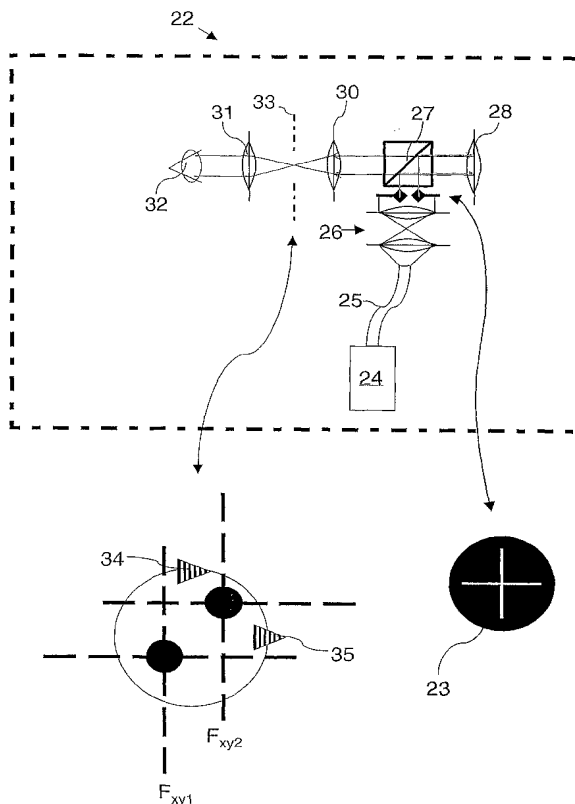
(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 001 441.8 8. Januar 2004 (08.01.2004) DE

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR ADJUSTING TWO OBJECT LENSES IN A 4PI-SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR JUSTIERUNG DER BEIDEN OBJEKTIVE IN EINER 4PI-ANORDNUNG



(57) Abstract: The invention relates to a device and method for adjusting two object lenses (19, 20) in the 4Pi system of a preferably confocal scanning microscope (1), wherein at least one object lens (19, 20) is movable with respect to the other object lens (20, 19). The aim of said invention is to carry out a simple adjustment and ensure the long-term high stability thereof. For this purpose, a reference object is formed in the pupils of the object lens (19, 20), a Fourier image is produced for each object lens (19, 20) from the mappings of the reference object and two Fourier images of the reference object are superimposed by displacing the object lenses (19, 20) with respect to each other.

(57) Zusammenfassung: Ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektive (19, 20) in einer 4Pi-Anordnung eines vorzugsweise konfokalen Scanmikroskops (1), wobei mindestens eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen Objektiv (20, 19) bewegbar ist, ist im Hinblick auf eine einfache Durchführbarkeit der Justierung sowie im Hinblick auf eine hohe Stabilität der Justierung über einen langen Zeitraum dadurch gekennzeichnet, dass ein Referenzobjekt in den Pupillen der Objektive (19, 20) abgebildet wird, dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv (19, 20) ein eigenes Fourier-Bild erzeugt wird und dass durch Bewegen zumindest eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen die beiden Fourier-Bilder des Referenzobjekts zur Deckung gebracht werden.

WO 2005/069041 A1



PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LU, MC, NL, PL,

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR JUSTIERUNG DER BEIDEN OBJEKTIVE IN EINER 4PI-ANORDNUNG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektive in einer 4Pi-Anordnung eines vorzugsweise konfokalen Scanmikroskops, wobei mindestens eines der Objektive relativ zu dem anderen Objektiv bewegbar ist.

In 4Pi-Anwendungen müssen immer zwei Objektive, die einander bezüglich einer Fokusebene gegenüber liegen und in orthogonaler Strahlachse zur Fokusebene stehen, derart ausgerichtet werden, dass sich ihre Fokusse jeweils genau in einem Punkt innerhalb der Fokusebene treffen. Nur bei dieser exakten Positionierung der beiden Objektive zueinander ist es möglich, qualitativ hochwertige und fehlerfreie Aufnahmen zu erstellen.

Derzeit sind nur sehr wenige Verfahren und Vorrichtungen der eingangs genannten Art bekannt. Bei den bekannten Verfahren steht eines der beiden Objektive örtlich fest, während das andere Objektiv manuell in x-, y- und z-Richtung verschoben wird. x und y bezeichnen dabei konventionellerweise die Ebene orthogonal zur Strahlachse, und die z-Richtung ist in Richtung der Strahlachse definiert. Bei den bekannten Verfahren wird ein Strahlengang aus dem 4Pi-Aufbau ausgekoppelt und der interferometrische Aufbau der 4Pi-Anordnung genutzt. Im Konkreten wird das interferometrische Bild beobachtet und das bewegbar angeordnete Objektiv in x- und in y-Richtung solange verschoben, bis sich ein Bild einstellt, das die nullte Ordnung zeigt.

Das bekannte Verfahren ist unter zahlreichen Gesichtspunkten problematisch. So kann zum einen die beschriebene Vorgehensweise nur für eine Justierung der beiden Objektive in x- und y-Richtung angewendet werden, wohingegen die Justierung in z-Richtung ein gänzlich anderes Verfahren erfordert. Für die Praxis bedeutet das, dass ein Benutzer während der Justage zwischen beiden Verfahren wechseln muss, was für ihn mit einem großen Zeitverlust verbunden ist. Zudem ist nachteilig, dass der Zustand, in dem die beiden Objektive exakt zueinander justiert sind, beispielsweise aufgrund von Drifts oder Vibrationen nicht über längere Zeit

stabil bleibt. Das hat zur Folge, dass die Bildaufnahme nur in dem Zeitraum möglich ist, in dem die abgeschlossene Justage gerade stabil ist. Bei einer auftretenden Dejustage muss der Messvorgang abgebrochen werden, die beiden Objektive müssen erneut exakt zueinander ausgerichtet werden, und erst dann kann die Messung fortgesetzt werden. Nicht zuletzt dieser komplizierten und zeitaufwendigen Justierung, die zudem ein hohes Maß an Kenntnissen und Erfahrung erfordert, ist es zuzuschreiben, dass der 4Pi-Mikroskopie bislang der große Durchbruch im Hinblick auf eine routinemäßige Anwendung versagt geblieben ist.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektive in einer 4Pi-Anordnung der eingangs genannten Art derart auszugestalten und weiterzubilden, dass zum einen eine einfache und ohne spezielle Kenntnisse benutzerseitig durchführbare Justierung möglich ist und dass zum anderen eine Stabilität der 4Pi-Bildaufnahme über einen langen Zeitraum erreicht ist.

Erfindungsgemäß wird die voranstehende Aufgabe hinsichtlich eines Verfahrens zur Justierung der beiden Objektive in einer 4Pi-Anordnung durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Danach ist ein Verfahren der eingangs genannten Art derart ausgestaltet, dass ein Referenzobjekt in den Pupillen der Objektive abgebildet wird, dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv ein eigenes Fourier-Bild erzeugt wird und dass durch Bewegen zumindest eines der Objektive relativ zu dem anderen die beiden Fourier-Bilder des Referenzobjekts zur Deckung gebracht werden.

Des Weiteren ist die obige Aufgabe im Hinblick auf eine Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektive in einer 4Pi-Anordnung durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 14 gelöst. Danach ist eine Vorrichtung der eingangs genannten Art derart ausgestaltet, dass zur Abbildung eines Referenzobjekts in den Pupillen der Objektive eine Beleuchtungseinrichtung und optische Einkoppelmittel vorgesehen sind, dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv ein eigenes Fourier-Bild erzeugbar ist und dass durch Bewegen zumindest eines der Objektive relativ zu dem anderen die beiden Fourier-Bilder des Referenzobjekts zur Deckung bringbar sind.

In erfindungsgemäßer Weise ist zunächst erkannt worden, dass in der 4Pi-Mikroskopie insbesondere der Vereinfachung der Justierung der Objektive eine ganz entscheidende Bedeutung zukommt. Diese Vereinfachung ist erfindungsgemäß dadurch realisiert, dass ein Referenzobjekt in den Pupillen der Objektive abgebildet wird und dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv ein eigenes Fourier-Bild erzeugt wird. Mit dem Fourier-Bild ist ein optisch sehr sauberes Instrument geschaffen, mit dem die exakte Ausrichtung der Objektive zueinander ganz einfach dadurch realisiert werden kann, dass zumindest eines der Objektive relativ zu dem anderen solange bewegt wird, bis sich die beiden aus den beiden Objektiven stammenden Fourier-Bilder des Referenzobjekts einander genau überdecken. Aufgrund der hohen Sensitivität, die durch Ausnutzung der Fourier-Bilder erreicht wird, kann die exakte Ausrichtung der beiden Objektive zueinander zudem über einen langen Zeitraum beibehalten werden, so dass mit einer sehr langen stabilen 4Pi-Bildaufnahme zu rechnen ist. Schließlich ist gegenüber den bekannten Verfahren und Vorrichtung ein Vorteil dahingehend geschaffen, dass die Objektive sowohl in der x, y-Ebene als auch in der z-Richtung im Wesentlichen in gleicher Weise justiert werden können. Das erfindungsgemäße Verfahren erfordert noch nicht einmal den Ausbau der Probe oder sonstige störende Eingriffe in das Mikroskop selbst.

In besonders vorteilhafter Weise könnte das Referenzobjekt eine zweidimensionale Struktur aufweisen, so dass im Fourier-Bild Beleuchtungsverteilungen sowohl entlang der x-Achse als auch entlang der y-Achse auftreten. Im Hinblick auf eine gute Auswertbarkeit der Fourier-Bilder und insbesondere, um im Fourier-Bild entlang der x-Achse und entlang der y-Achse dieselbe Beleuchtungsverteilung zu erhalten, könnte das Referenzobjekt bevorzugt als Kreuzblende ausgeführt sein.

Zur Vermeidung möglichst jeglichen Eingriffs in den Beleuchtungs- und Detektionsstrahlengang der 4Pi-Anordnung ist es von ganz besonderem Vorteil, das Referenzobjekt außerhalb der 4Pi-Anordnung bereitzustellen.

Als Beleuchtungseinrichtung könnte eine Laserlichtquelle vorgesehen sein, wobei es sich hier insbesondere um eine Infrarot-Laserlichtquelle handeln könnte. Es hat sich

gezeigt, dass durch infrarotes Beleuchtungslicht die mikroskopische Bildaufnahme nahezu nicht beeinflusst wird.

Zur Einkopplung des Lichts der Beleuchtungseinrichtung in den 4Pi-Strahlengang könnten ein Strahlteilerwürfel und eine Linse vorgesehen sein. Durch die Verwendung eines Strahlteilerwürfels, vorzugsweise eines 50/50-Strahlteilerwürfels, wird zum einen erreicht, dass das Licht der Beleuchtungseinrichtung problemlos in den 4Pi-Strahlengang einkoppelbar ist, und wird zum anderen erreicht, dass das aus dem 4Pi-Strahlengang wieder austretende Licht nicht vollständig auf das Referenzobjekt bzw. die Beleuchtungseinrichtung zurückgestrahlt wird, sondern zur Untersuchung der Fourier-Bilder bereitgestellt werden kann.

Um das Referenzobjekt in den Pupillen der Objektive abzubilden, ist das Referenzobjekt in vorteilhafter Weise unmittelbar auf der der Beleuchtungseinrichtung zugewandten Seite des Strahlteilerwürfels angeordnet.

In einer konkreten Ausführungsform ist vorgesehen, die Fourier-Bilder mittels einer Linse auf eine Kamera, vorzugsweise auf eine CCD-Kamera, abzubilden. Die aus den beiden Objektiven resultierenden Fourier-Bilder des Referenzobjekts erscheinen dabei ähnlich zweier Fadenkreuze im Kamerabild und können daher auf besonders einfache Weise im Rahmen einer ersten Grobjustierung durch Bewegen mindestens eines der beiden Objektive relativ zu dem anderen Objektiv zur gegenseitigen Überdeckung gebracht werden.

Für eine anschließende hochpräzise Feinjustierung könnte das Überdecken der beiden Fourier-Bilder mittels in der Ebene der Fourier-Bilder platzierter Photodioden kontrolliert werden. Zur einfachen Unterscheidung zwischen horizontal (d.h. in x-Richtung) und vertikal (d.h. in y-Richtung) verlaufenden Beleuchtungsstrukturen im Fourier-Bild werden die Photodioden in vorteilhafter Weise im Raum höherer Ordnung der Fourier-Bilder angeordnet.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind zwei Photodioden entsprechend der zweidimensionalen Struktur des Referenzobjekts derart angeordnet, dass die eine Photodiode die vertikalen Strukturen und die andere Photodiode die horizontalen

Strukturen der Fourier-Bilder erfasst. Selbstverständlich können auch mehr als zwei Photodioden vorgesehen sein.

Zur Positionierung der Objektive in der x,y-Ebene, wird mindestens eines der Objekte solange verschoben, bis sich an beiden Photodioden jeweils ein maximaler Intensitätswert einstellt. In diesem Fall ist garantiert, dass sich die Fourier-Bilder exakt decken und dass sich die Fokusse der beiden Objektive exakt in einem Punkt innerhalb der Fokusebene treffen. Die mit den jeweiligen maximalen Intensitätswerten der beiden Photodioden korrespondierende x,y-Positionierung der Objektive könnte zum Zwecke einer späteren Abrufbarkeit in einem Permanentsspeicher gespeichert werden.

Zur Justierung der Objektive entlang der Strahlachse, d.h. in z-Richtung, könnte mindestens eines der Objektive in Richtung der Strahlachse so verschoben werden, dass das Summensignal der Photodioden einen maximalen Intensitätswert erreicht. Das Summensignal der beiden Photodioden wird nämlich gerade dann maximal, wenn die Fourier-Bilder scharf abgebildet werden, d.h. die Objektive in z-Richtung derart zueinander positioniert sind, dass sich ihre Fokusse genau in einem Punkt der Fokusebene treffen. Auch die mit dem Maximum des Summensignals der beiden Photodioden korrespondierende z-Positionierung der Objektive könnte in einem Permanentsspeicher gespeichert werden.

Weichen die Signalintensitäten der Photodioden von den Maximalwerten ab, was gleichbedeutend ist mit einer beispielsweise durch Drift oder Vibration hervorgerufenen Dejustierung der Objektive, so könnte vorgesehen sein, dass die Messung automatisch unterbrochen wird. Für den Grad der nicht mehr tolerierbaren Abweichungen, bei denen die Messung gestoppt werden soll, könnten im Vorfeld einer Messung Grenzwerte festlegbar sein. Das Unterbrechen der Messung könnte dem Benutzer durch ein akustisches und/oder optisches Signal angezeigt werden.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, dass beim Auftreten von Abweichungen der Signalintensitäten der Photodioden vom Maximalwert das Objektiv automatisch nachgeführt wird. Dazu könnten im Konkreten piezoelektrische Verstellelemente an dem Objektiv vorgesehen sein, die in

Abhängigkeit der Signalintensitäten der Photodioden ansteuerbar sind. Die Ansteuerung der piezoelektrischen Verstellelemente könnte auch in Abhängigkeit von Auswertedaten einer Bildverarbeitung der Kamerabilder erfolgen.

Das Kontrollieren der Fourier-Bilder und ggf. das Nachführen des Objektivs könnte während einer Messung in regelmäßigen Abständen zyklisch wiederholt werden. Dafür könnte die Messung unterbrochen werden, es ist jedoch ebenfalls denkbar, die Messung weiterlaufen zu lassen. Im zuletzt genannten Fall ist es von besonderem Vorteil, die während einer Messung durchgeführten Bewegungen des Objektivs zu protokollieren. Anhand der protokollierten Daten können ggf. Fehler bei der späteren Bildauswertung korrigiert werden.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Patentansprüche und andererseits auf die nachfolgende Erläuterung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung des bevorzugten Ausführungsbeispiels der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im Allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Lehre erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 in einer schematischen Darstellung eine 4Pi-Anordnung sowie die Ankopplung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektivs der 4Pi-Anordnung und

Fig. 2 in einer schematischen Darstellung ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung.

Fig. 1 zeigt – schematisch – eine 4Pi-Anordnung eines konfokalen Scanmikroskops 1 zur Untersuchung eines Objekts 2. Das Scanmikroskop 1 umfasst einen Beleuchtungsstrahlengang 3 einer Laserlichtquelle 4, einen Detektionsstrahlengang 5 eines Detektors 6 und ein den Beleuchtungsstrahlengang 3 in zwei Beleuchtungsteilstrahlengänge 7, 8 aufspaltendes und den Detektionsstrahlengang 5 vereinigendes Bauteil 9.

Das zur Beleuchtung des Objekts 2 dienende Beleuchtungslicht 10 der Lichtquelle 4 wird über eine Linse 11 auf die Anregungslochblende 12 abgebildet. Das die Anregungslochblende 12 passierende Licht wird von dem dichroitischen Strahlteiler 13 in Richtung einer Strahlablenkvorrichtung 14 reflektiert. Die Strahlablenkvorrichtung 14 scannt den Beleuchtungslichtstrahl 10 in zwei im Wesentlichen senkrecht zueinander stehenden Richtungen. Der von der Strahlablenkvorrichtung 14 reflektierte und gescannte Lichtstrahl trifft auf das Bauteil 9, wo er in zwei Teilstrahlen 15, 16 aufgeteilt wird. Das die beiden Teilstrahlen durchlaufende Beleuchtungslicht wird an den Spiegeln 17, 18 reflektiert und über die Mikroskopobjektive 19, 20 von beiden Seiten aus in den gleichen Objektpunkt des Objekts 1 fokussiert. Das Ablenken des Beleuchtungslichtstrahls 10 von der Strahlablenkvorrichtung 14 bewirkt eine Ortsänderung der Beleuchtungsfokusse der beiden Mikroskopobjektive 19, 20, so dass das Objekt 1 zweidimensional in der Fokalebene beleuchtet werden kann.

Das von dem lediglich schematisch gezeichneten Objekt 1 ausgehende Detektionslicht – beispielsweise Fluoreszenz-, Reflexions- oder Transmissionslicht – wird von den beiden Mikroskopobjektiven 19, 20 aufgesammelt und durchläuft die Beleuchtungsstrahlengänge 7, 8 in umgekehrter Richtung. Das vom Mikroskopobjektiv 19 (20) aufgesammelte Detektionslicht wird vom Spiegel 17 (18) in Richtung des den Detektionsstrahlengang 5 vereinigenden Bauteils 9 reflektiert. Das Detektionslicht wird beim Passieren des Bauteils 9 vereinigt und über die Strahlablenkvorrichtung 14, den dichroitischen Strahlteiler 13 in Richtung der Detektionslochblende 21 geleitet. Lediglich wenn Detektionslicht aus dem Beleuchtungsfokus der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 stammt, kann dieses Detektionslicht die Detektionslochblende 21 passieren, da die Detektionslochblende 21 gemäß dem konfokalen Prinzip in einer zum Beleuchtungsfokus der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 optisch korrespondierenden Ebene angeordnet ist. In gleicher Weise ist die Anregungslochblende 12 in einer optisch korrespondierenden Ebene zu dem gemeinsamen Beleuchtungsfokus der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 angeordnet.

Zur exakten Ausrichtung der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 derart, dass sich die Fokusse der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 exakt in einem Punkt in der Fokusebene treffen, dient die in Fig. 1 lediglich schematisch angedeutete und mit dem

Bezugszeichen 22 versehene erfindungsgemäße Vorrichtung, die in Fig. 2 in größerem Detail dargestellt ist.

Fig. 2 zeigt schematisch den konkreten Aufbau eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Justierung der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 in einer 4Pi-Anordnung eines konfokalen Scanmikroskops 1. Eine Kreuzblende 23, die im unteren rechten Teil von Fig. 2 vergrößert dargestellt ist, wird erfindungsgemäß in den Pupillen der Mikroskopobjektive 19, 20 abgebildet. Dazu wird das Beleuchtungslicht einer Infrarot-Laserlichtquelle 24 über eine Lichtleitfaser 25 auf ein geeignetes Linsensystem 26 geführt, so dass die Kreuzblende 23 vollständig und gleichmäßig ausgeleuchtet wird. Die Kreuzblende 23 liegt auf der der Beleuchtungslichtquelle 24 zugewandten Seite eines 50/50-Strahlteilerwürfels 27 (BSC Pol Ir). Über eine Abbildungslinse 28 wird das Beleuchtungslicht an dem Bauteil 9 in die 4Pi-Anordnung eingekoppelt, so dass in der Ebene 29 ein Zwischenbild der Kreuzblende 23 entsteht und diese in den Pupillen der Mikroskopobjektive 19, 20 abgebildet wird. Das aus der 4Pi-Anordnung wieder austretende Licht durchdringt den Strahlteilerwürfel 27 und wird über eine Linse 30 in eine zweidimensionale Fourier-Transformierte der Kreuzblende 23 abgebildet. Aufgrund der oben beschriebenen Strahlführung ergibt sich für jedes der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 ein eigenes Fourier-Bild der Kreuzblende 23. Eine weitere Linse 31 dient zur Abbildung der Fourier-Transformierten auf eine CCD-Kamera 32.

Die optischen Verhältnisse in der Ebene 33 der Fourier-Transformierten sind im linken unteren Teil von Fig. 2 im Detail dargestellt. Zu erkennen sind zwei gegeneinander verschobene Fourier-Bilder der Kreuzblende 23, wobei das mit Fxy1 bezeichnete Fourier-Bild aus der Abbildung der Kreuzblende 23 in die Pupille des Mikroskopobjektivs 19 und das mit Fxy2 bezeichnete Fourier-Bild entsprechend von Mikroskopobjektiv 20 resultiert. Die in Fig. 2 dargestellte Situation, in der die beiden im Sinne eines Fadenkreuzes erscheinenden Fourier-Bilder gegeneinander verschoben sind, deutet daraufhin, dass die beiden Mikroskopobjektive 19, 20 nicht exakt aufeinander justiert sind. Für eine erste Grobjustierung der beiden Mikroskopobjektive 19, 20 wird in einem ersten Schritt die Kamera 32 zur Kontrollrichtung verwendet, indem der Anwender durch Verschieben des Objektivs 19 – Mikroskopobjektiv 20 ist im vorliegenden Fall ortsfest ausgeführt – die beiden Fourier-Bilder Fxy1

und Fxy2 zur Deckung bringt. Ist dieses Vorgehen vom Anwender abgeschlossen worden, so kann er für eine Feinjustierung in einem zweiten Schritt einen Automatisierungsprozess starten, der im Folgenden beschrieben wird:

In der Ebene 33 der Fourier-Transformierten sind im Raum der höheren Ordnungen zwei Photodioden 34, 35 platziert. Wenn die Mikroskopobjektive 19, 20 ideal zueinander ausgerichtet sind, d.h. bei Superposition von Fxy1 und Fxy2, zeigen beide Photodioden 34, 35 jeweils einen maximalen Intensitätswert. Iterativ kann das verfahrbare Objektiv 19, das über nicht gezeigte piezoelektrische Verstellelemente hochpräzise positioniert werden kann, soweit in x- und in y-Richtung bewegt werden, bis sich ein Maximalwert an den Photodioden 34, 35 einstellt. Um die Verfahrrichtung zu erkennen, muss das Objektiv 19 entweder über den Maximalwert hinaus verfahren werden, oder aber das Objektiv 19 muss mit ausreichend großer Verfahrweite in beiden Richtungen verschoben werden, bis sich ein Maximalwert einstellt. Der Maximalwert wird zusammen mit den dazugehörigen Positionsdaten des Objektivs 19 in einem nichtflüchtigen Speicher festgehalten. Treten im Verlaufe der Messung Dejustagen der Mikroskopobjektive 19, 20 auf, so werden die gespeicherten Positionsdaten aus dem Speicher abgerufen und entsprechende korrigierende Steuerbefehle an die piezoelektrischen Verstellelemente ausgegeben. Dieser Vorgang kann zyklisch wiederholt werden.

Für die Justierung der Mikroskopobjektive 19, 20 entlang der Strahlachse, d.h. in z-Richtung, besteht die Möglichkeit die Information aus einer scharfen Abbildung der Fourier-Bilder ausnutzen, d.h. es wird das Summensignal der beiden Photodioden 34, 35 verwendet. Dabei nutzt man aus, dass die Fourier-Bilder mehr und mehr verschwimmen, je mehr sich die Objektive 19, 20 aus ihrer exakt justierten z-Position entfernen. Sind die Objektive 19, 20 in z-Richtung zu stark dejustiert, so verschwinden die Fourier-Bilder vollständig. Ein maximales Summensignal ergibt sich folglich bei exakter Justierung der beiden Objektive 19, 20. Um Richtung und Maximum des Summensignals zu erfassen, wird daher das Objektiv 19 ein wenig in positive und negative z-Richtung verschoben. Ist das Maximum des Summensignals gefunden, so wird die dazu gehörende z-Position des Objektivs 19 ebenfalls in einem Speicher abgelegt. Das Objektiv 19 wird sodann an die gespeicherte Position be-

wegt. Damit ist die Justage des Objektivs 19 in z-Richtung ebenfalls abgeschlossen. Auch dieser Vorgang kann zyklisch wiederholt werden.

Abschließend sei ganz besonders darauf hingewiesen, dass das voranstehend erörterte Ausführungsbeispiel lediglich zur Beschreibung der beanspruchten Lehre dienen, diese jedoch nicht auf das Ausführungsbeispiel einschränkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Justierung der beiden Objektive (19, 20) in einer 4Pi-Anordnung eines vorzugsweise konfokalen Scanmikroskops (1), wobei mindestens eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen Objektiv (20, 19) bewegbar ist, dadurch gekennzeichnet, dass ein Referenzobjekt in den Pupillen der Objektive (19, 20) abgebildet wird, dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv (19, 20) ein eigenes Fourier-Bild erzeugt wird und dass durch Bewegen zumindest eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen die beiden Fourier-Bilder des Referenzobjekts zur Deckung gebracht werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Fourier-Bilder von einer Kamera, vorzugsweise einer CCD-Kamera (32), erfasst werden.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das einander Überdecken der beiden Fourier-Bilder mittels der Kameraabbildungen der Fourier-Bilder kontrolliert wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kameraabbildungen der Fourier-Bilder mittels Bildverarbeitungssoftware analysiert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das einander Überdecken der beiden Fourier-Bilder mittels in der Ebene der Fourier-Bilder platzierter Photodioden (34, 35) überwacht wird.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Objektive (19) in einer zur Strahlachse der 4Pi-Anordnung orthogonalen Ebene – x, y-Richtung – so verschoben wird, dass sich an beiden Photodioden (34, 35) jeweils ein maximaler Intensitätswert einstellt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die mit den jeweiligen maximalen Intensitätswerten der beiden Photodioden (34, 35) korrespondierende x, y-Positionierung der Objektive (19, 20) gespeichert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der Objektive (19) in Richtung der Strahlachse der 4Pi-Anordnung – z-Richtung – so verschoben wird, dass das Summensignal der Photodioden (34, 35) einen maximalen Intensitätswert erreicht.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die mit dem Maximum des Summensignals der beiden Photodioden (34, 35) korrespondierende z-Positionierung der Objektive (19, 20) gespeichert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung bei Abweichungen der Signalintensitäten der Photodioden (34, 35) von den Maximalwerten automatisch unterbrochen wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Objektiv (19) bei Abweichungen der Signalintensitäten der Photodioden (34, 35) von den Maximalwerten automatisch nachgeführt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Kontrollieren der Fourier-Bilder und ggf. das Nachführen des Objektivs (19) während einer Messung in regelmäßigen Abständen zyklisch wiederholt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die während einer Messung durchgeführten Bewegungen des Objektivs (19) protokolliert werden.
14. Vorrichtung zur Justierung der beiden Objektive (19, 20) in einer 4Pi-Anordnung eines vorzugsweise konfokalen Scanmikroskops, wobei mindestens eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen Objektiv (20, 19) bewegbar ist, insbesondere zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13,

dadurch gekennzeichnet, dass zur Abbildung eines Referenzobjekts in den Pupillen der Objektive (19, 20) eine Beleuchtungseinrichtung und optische Einkoppelmittel vorgesehen sind, dass aus den Abbildungen des Referenzobjekts für jedes Objektiv (19, 20) ein eigenes Fourier-Bild erzeugbar ist und dass durch Bewegen zumindest eines der Objektive (19, 20) relativ zu dem anderen die beiden Fourier-Bilder des Referenzobjekts zur Deckung bringbar sind.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass Referenzobjekt eine zweidimensionale Struktur aufweist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass Referenzobjekt als Kreuzblende (23) ausgeführt ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzobjekt außerhalb des 4Pi-Anordnung bereitgestellt ist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 17, gekennzeichnet durch eine Infrarot-Laserlichtquelle (24) als Beleuchtungseinrichtung.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 18, gekennzeichnet durch einen Strahlteilerwürfel (27) und eine Linse (28) als Einkoppelmittel.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenzobjekt unmittelbar auf der der Beleuchtungseinrichtung zugewandten Seite des Strahlteilerwürfels (27) angeordnet ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 20, gekennzeichnet durch eine Linse (31) zur Abbildung der Fourier-Bilder auf eine Kamera, vorzugsweise auf eine CCD-Kamera (32).

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass in der Ebene (33) der Fourier-Bilder Photodioden (34, 35) angeordnet sind.

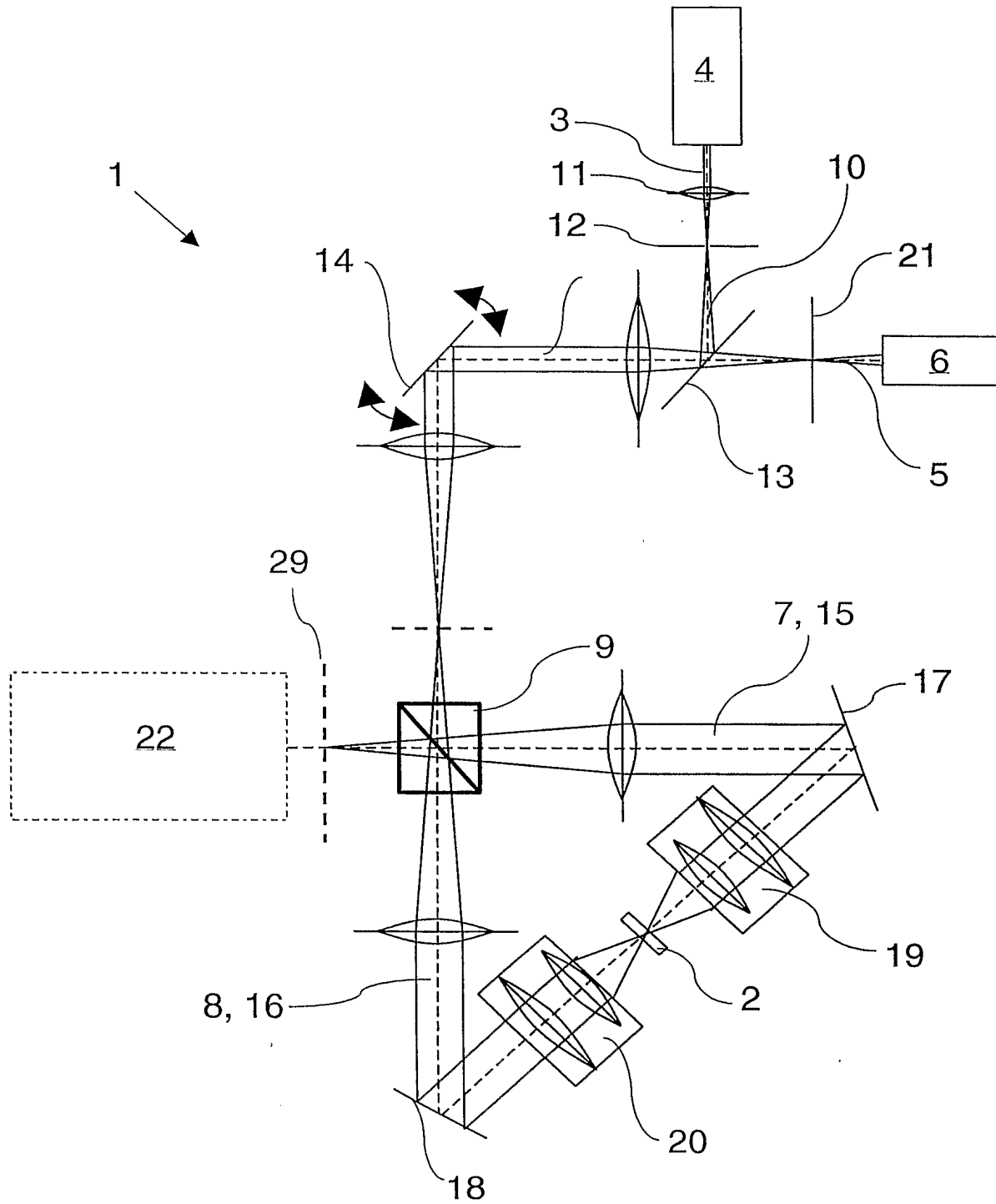
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Photodioden (34, 35) im Raum höherer Ordnung der Fourier-Bilder angeordnet sind.

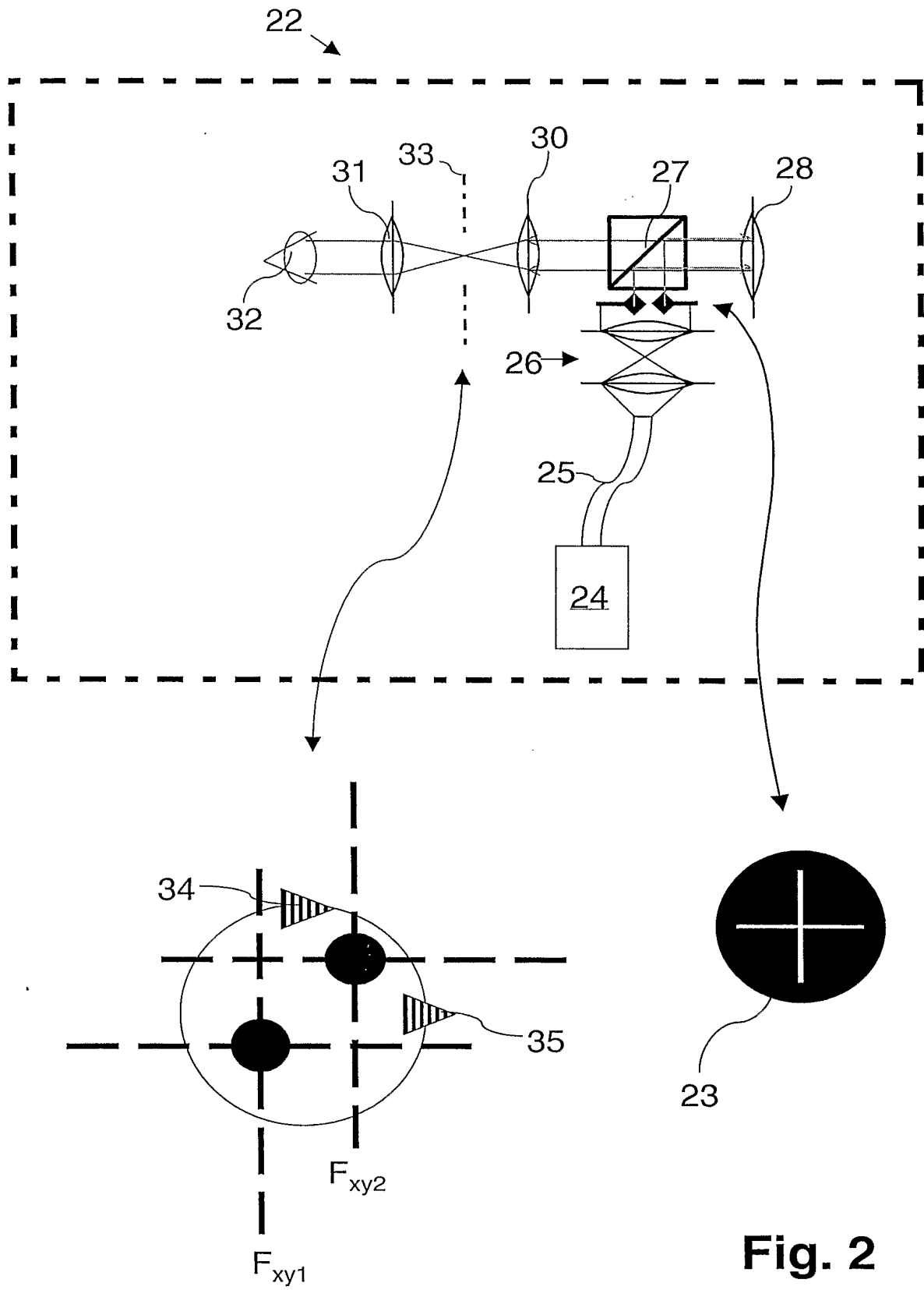
24. Vorrichtung nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass zwei Photodioden (34, 35) entsprechend der zweidimensionalen Struktur des Referenzobjektes derart angeordnet sind, dass die eine Photodiode (34, 35) die vertikalen (x) Strukturen und die andere Photodioden (35, 34) die horizontalen (y) Strukturen der Fourier-Bilder erfasst.

25. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass piezoelektrische Verstellelemente zur Bewegung des Objektivs (19) vorgesehen sind.

26. Vorrichtung nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die piezoelektrischen Verstellelemente in Abhängigkeit der Signalintensitäten der Photodioden (34, 35) und/oder in Abhängigkeit von Auswertedaten der Bildverarbeitungssoftware ansteuerbar sind.

1/2

**Fig. 1**



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE2004/002482

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G02B21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 199 14 049 A1 (LEICA MICROSYSTEMS HEIDELBERG GMBH) 5 October 2000 (2000-10-05) column 3 - column 4	1, 14
A	US R E38 307 E1 (GUSTAFSSON MATS G L 'SE! ET AL) 11 November 2003 (2003-11-11) column 15, line 51 - column 16, line 5	1, 14



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *Z* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2005

Date of mailing of the international search report

21/04/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Scheu, M

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/002482

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
DE 19914049	A1	05-10-2000	US	2004114225 A1		17-06-2004
US RE38307	E1	11-11-2003	US	5671085 A		23-09-1997
			AU	4773896 A		21-08-1996
			CA	2210801 A1		08-08-1996
			EP	0807273 A1		19-11-1997
			JP	11501404 T		02-02-1999
			WO	9624082 A1		08-08-1996

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G02B21/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G02B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 199 14 049 A1 (LEICA MICROSYSTEMS HEIDELBERG GMBH) 5. Oktober 2000 (2000-10-05) Spalte 3 – Spalte 4	1, 14
A	US R E38 307 E1 (GUSTAFSSON MATS G L 'SE! ET AL) 11. November 2003 (2003-11-11) Spalte 15, Zeile 51 – Spalte 16, Zeile 5	1, 14

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

14. April 2005

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

21/04/2005

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL – 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Scheu, M

INTERNATIONALE RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/002482

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
DE 19914049	A1	05-10-2000	US	2004114225 A1	17-06-2004
US RE38307	E1	11-11-2003	US	5671085 A	23-09-1997
			AU	4773896 A	21-08-1996
			CA	2210801 A1	08-08-1996
			EP	0807273 A1	19-11-1997
			JP	11501404 T	02-02-1999
			WO	9624082 A1	08-08-1996